



Licence Sciences et Techniques (LST)

# GENIE CHIMIQUE

## PROJET DE FIN D'ETUDES

**Etude du bilan énergétique et optimisation de la  
consommation énergétique au niveau de l'unité  
d'évaporation**

### Présenté par :

- ◆ SERBI Chaimae

### Encadré par :

- ◆ Mr Mustapha GHALIM
- ◆ Pr SQALLI Ouafae

**Soutenu Le 8 Juin 2017 devant le jury composé de:**

- Pr O.SQALLI
- Pr A.ZEROUALE
- Pr K.MISBAHI
- Mr Mustapha GHALIM

**Stage effectué à Cosumar**

**Année Universitaire 2016 / 2017**

# *Dédicaces*

*A mes très chers parents, mon frère, et tous les membres de ma famille pour  
leurs sacrifices ;*

*A tous mes chers(es) amis(es) avec lesquelles je partage les moments forts dans  
ma vie ;*

*A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin pour la réalisation de mon  
projet;*

*Je dédie ce modeste travail à toutes les personnes chères à mon cœur.*

*Qu'elles trouvent ici l'expression de toutes mes gratitude et mes amours.*

# *Remerciements*

Avant tout développement sur ce stage de fin d'études, il apparaît opportun de commencer ce rapport de stage par des remerciements, à ceux qui nous ont beaucoup appris au cours de ce stage, et à ceux qui ont eu la gentillesse de faire de ce stage un moment très profitable.

On tient à remercier tout d'abord notre chère professeur **Mme SQALLI Ouafae** pour sa collaboration, son aide, ses efforts et conseils.

Un merci spéciale pour notre parrain de stage **Mr. Mustapha GHALIM**, pour tous ses conseils et orientations durant toute la période de stage.

Nos remerciements vont aussi à l'ensemble du personnel de **service de production** pour les conseils qu'ils ont pu nous prodiguer au cours de cette période de stage.

Sans oublier aussi d'exprimer nos sincères remerciements et notre profonde gratitude à nos **Professeurs** et nos **Jurys** de la faculté des sciences et techniques de Fès.

## SOMMAIRE

<b>Introduction .....</b>	<b>4</b>
<b>Chapitre 1 : Contexte générale du projet .....</b>	<b>5</b>
<b>I. Présentation de l'organisme d'accueil .....</b>	<b>6</b>
1 Historique de cosumar .....	6
2 Présentation de la SUTA.....	6
3 Fiche technique de la société .....	7
4 Présentation de la matière première.....	7
<b>II. Processus de fabrication au sein de la SUTA .....</b>	<b>7</b>
1 Chaîne d'extraction du sucre blanc.....	7
2 Stockage, réception et lavage des betteraves .....	8
3 Découpage: .....	9
4 Diffusion .....	9
5 <b>Sécherie</b> .....	10
6 Epuration.....	10
7 Deuxième carbonatation .....	11
8 Évaporation.....	12
9 Cristallisation.....	12
10 Séchage et Conditionnement de sucre .....	12
<b>III. Procédé de l'évaporation à l'usine de SUTA .....</b>	<b>12</b>
1. L'auto' évaporation.....	13
2. Le bilan dans une caisse d'évaporation .....	14
3. Transfert de chaleur en évaporation.....	15
4. Conduite de l'évaporation.....	15
5. Efficacité d'évaporation.....	16
<b>Chapitre 2 : Problématique .....</b>	<b>18</b>
<b>I. Définition .....</b>	<b>19</b>
<b>II. Etude de cas.....</b>	<b>19</b>
1. Problématique .....	19
2. Détermination des prélèvements des corps d'évaporation.....	19
3. Etablissement du bilan de l'évaporation.....	25
4. Calcul de la température des condensats.....	28
5. Calcul du bilan de l'évaporation .....	29
6. Conclusion .....	32
<b>III. Besoins énergétiques de la sucrerie.....</b>	<b>32</b>

1. Besoins thermiques .....	32
<b>IV. Besoins énergétiques totaux .....</b>	<b>33</b>
<b>V. Economies d'énergie en évaporation .....</b>	<b>33</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>34</b>
<b>Conclusion général.....</b>	<b>35</b>

## Introduction

Le Sucre est l'un des principales denrées alimentaires à côté de l'huile et des céréales. Il est d'origine végétale, composé essentiellement de saccharose qui est responsable de sa saveur douce (sucré), extraite principalement de la canne à sucre et de la betterave sucrière.

Le but de la sucrerie est de produire au moindre coût du sucre à betterave correspondant aux qualités exigés par le marché pour faire face à la concurrence féroce du sucre brut provenant du Brésil ou du Cuba destiné au raffinage.

Pour atteindre cet objectif, j'ai effectué un projet basé sur l'étude d'un bilan énergétique au niveau d'évaporation pour identifier les points faibles et mettre en évidence les points à améliorer pour que chaque étape de la fabrication doit être optimisée

L'atelier de l'évaporation représente le cœur de la sucrerie, puisque les quantités d'eau à éliminer sont si importantes que la vapeur produite par les chaudières permet de générer de l'énergie utile à la fois à l'évaporateur (auto- alimentation) mais aussi au fonctionnement des autres ateliers de l'usine.

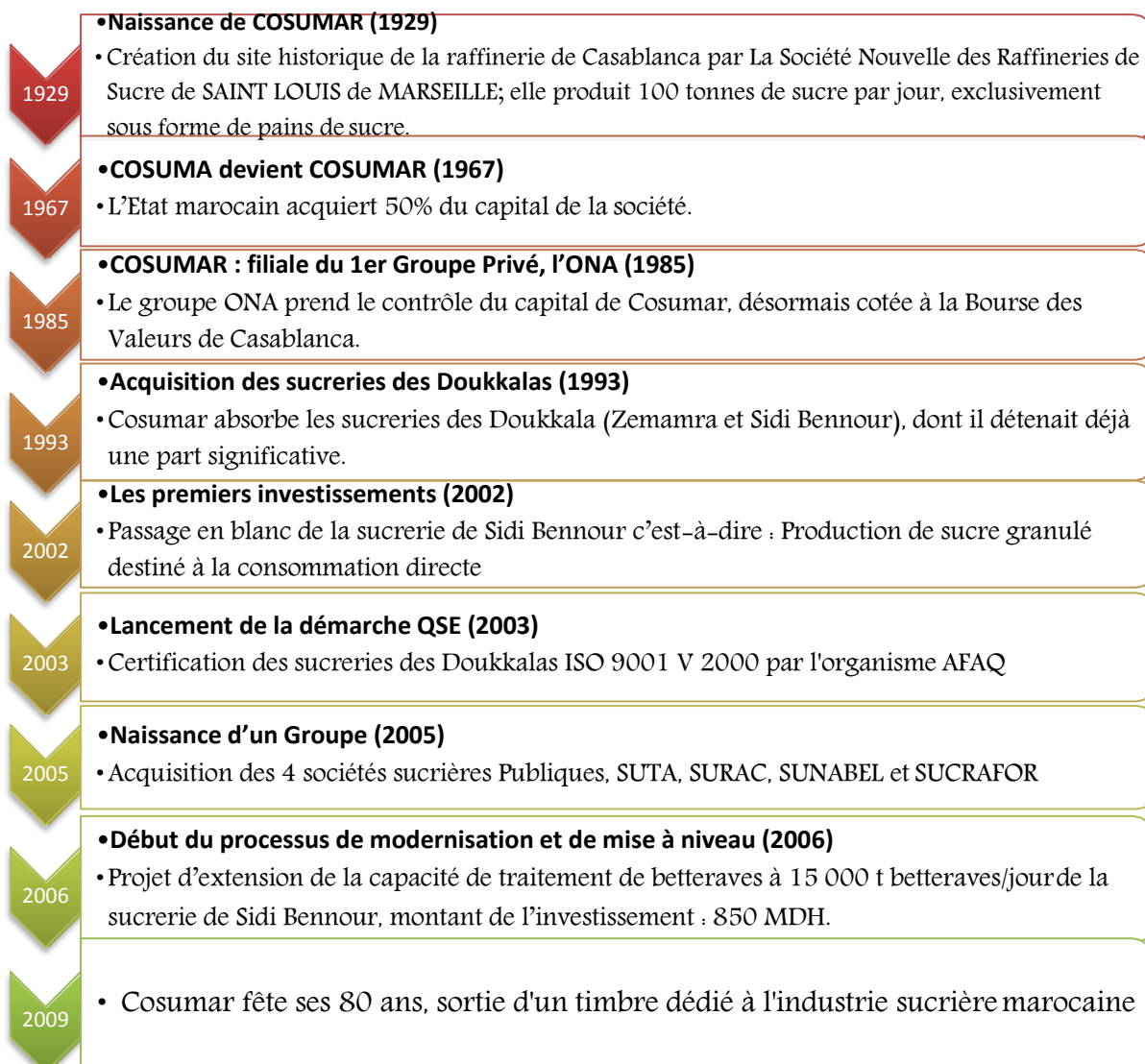
## Chapitre 1 : Contexte générale du projet

Cette partie est une présentation générale du projet. Elle commence par la présentation de l'organisme d'accueil, et le processus de fabrication du sucre ainsi que le procédé de l'évaporation à l'usine de SUTA.

- ✓ **Présentation de l'organisme d'accueil**
- ✓ **Processus de fabrication du sucre**
- ✓ **Procédé de l'évaporation à l'usine de SUTA**

## I. Présentation de l'organisme d'accueil

### 1 Historique de cosumar



### 2 Présentation de la SUTA :

La SUTA ou « Sucreries Raffineries du Tadla » est un site de COSUMAR, filiale de groupe SNI (ONA auparavant), après la fusion des trois sucreries de la région ; SUBM, SUTA et SUNAT. Elle joue un rôle très primordial dans l'économie nationale en couvrant presque 30% des besoins en sucre et en assurant des pulpes sèches et humides pour l'élevage, ainsi que la mélasse pour les industries de bio fermentation.



### 3 [Fiche technique de la société](#)

<b>Siège social</b>	: km 46 route de Marrakech Béni Mellal
<b>Téléphone</b>	: 523445474,529800780 et 529800781
<b>Activité</b>	: Production du sucre blanc
<b>Capital</b>	: 104 million de centime 277 800 DH
<b>Chiffre d'affaire</b>	: 441 122 000 DH
<b>Forme juridique</b>	: Société Anonyme
<b>Registre de commerce</b>	: 214087 fekih ben Salah
<b>N ° de patente</b>	: 41355041
<b>CNSS</b>	: 1881673
<b>Date de creation</b>	: 1971
<b>Identification fiscal</b>	06140900
<b>Effectif</b>	150
<b>Nombre des associés</b>	3

### 4 [Présentation de la matière première](#)

#### 5-1 Composition chimique de la betterave

La betterave sucrière du genre (Béta) vulgarise est constituée d'environ 23.5% de matière sèche et de 76.5% d'eau. Le saccharose représente environ 17% de la matière sèche. Le reste est constitué de composés solubles et insolubles.

La partie insoluble, appelée marc, est formée essentiellement de cellulose, d'hémicelluloses et de substances pectiques. La cellulose et les hémicelluloses constituent le squelette de la cellule, et les substances pectiques jouent le rôle de ciment.

La partie soluble est constituée principalement de composés organiques azotés ou non, de sels et de cendre

## II. [Processus de fabrication au sein de la SUTA](#)

### 1 [Chaîne d'extraction du sucre blanc :](#)

Le procédé de fabrication peut être décrit selon plusieurs étapes :

- La réception – stockage.
- L'alimentation de l'usine – lavage.
- Le découpage - extraction du jus.
- Le pressage et séchage des pulpes.
- L'épuration du jus.

- La décalcification du jus.
- La concentration du jus (l'évaporation).
- La cristallisation du sucre.
- Le séchage et conditionnement du sucre.

L'ensemble des étapes de la sucrerie vise à extraire le sucre blanc avec le moins d'impuretés possible.

## 2 [Stockage, réception et lavage des betteraves](#)

### 2-1 [Réception de la betterave](#)

A l'entrée de l'usine, il y a des ponts bascules pour peser les camions de betteraves arrivant à l'usine et aussi pour peser les camions vides à la sortie.

Les sucreries paient les agriculteurs en se basant sur le poids net de betteraves décolletées et leur richesse en saccharose.

### 2-2 [Déchargement mécanique:](#)

Les camions ou remorques dont on a prélevé l'échantillon avancent vers le culbuteur pour se décharger avant de subir la deuxième pesée (poids vide P2)



**Figure 1: Déchargement des camions via une plate forme de basculage et bande mobile vers Stockage**

La charge des betteraves est basculée dans une bande mobile qui transporte les betteraves vers deux silos de stockage de capacité de 6000 tonnes. Les silos de betterave sont ventilés par quatre ventilateurs afin de favoriser les conditions de stockage pour éviter l'hydrolyse enzymatique du saccharose en ce qui concerne le temps de stockage, il est limité à une journée.

### 2-3 [Transport et lavage des betteraves :](#)

L'abattage des betteraves au niveau des silos est réalisé grâce à deux pompes, par des jets d'eau sous forte pression, pour faire tomber la betterave dans les caniveaux présentant une pente douce



**Figure 2 : Abattage des betteraves au niveau des silos**

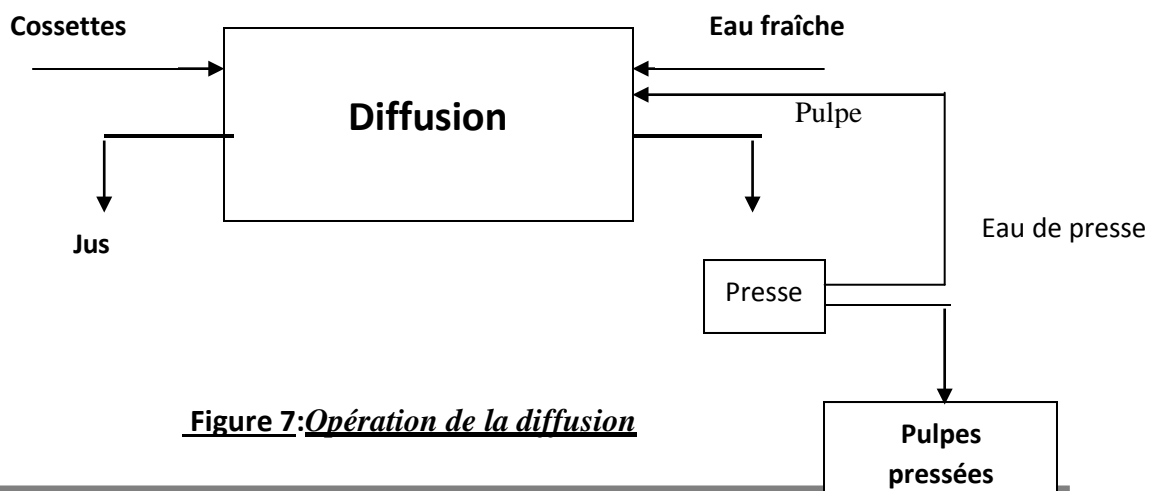
### 3 Découpage:

Pour que le phénomène de la diffusion puisse se passer rapidement et avec un bon rendement, il faut que la betterave soit finement découpée. D'autre part la diffusion doit être sélective et il s'agit donc de ne pas déchirer les cellules qui laisseraient sortir tout leur contenu sans distinction. La cossette doit donc répondre à plusieurs contraintes. Elle doit être assez fine pour permettre une bonne extraction et assez rigide pour permettre une bonne percolation du jus.

### 4 Diffusion

La diffusion est l'extraction du sucre contenu dans la betterave à travers la paroi cellulaire en utilisant de l'eau comme moyen d'extraction.

Son objectif principal est l'extraction du maximum de saccharose de l'intérieur des cellules et le moins possible d'impuretés (non sucres) tout en utilisant un minimum d'eau.



**Figure 7: Opération de la diffusion**

## 5 Sécherie

### 5-1 Presses à pulpes :

A la sortie des diffuseurs, les cossettes épuisées, ont une teneur très élevée en eau (92,5 à 93 %), d'où la nécessité de les soumettre à un pressage avant toute utilisation ultérieure.

Le but de cette opération est :

- Limiter les pertes dans les pulpes.
- Récupérer le sucre dans les eaux de presse.
- Eliminer l'eau résiduelle dans les pulpes
- Limiter la consommation du fuel au niveau de la sécherie.

Les pulpes sont récupérées à la sortie du diffuseur elles sont transportées par une vis sans fin vers les vis jumelles d'alimentation des presses.

### 5-2 Séchage des pulpes pressées :

Les pulpes pressées vont être pesées, puis mélangées avec la mélasse provenant de la cristallisation. L'ensemble sera acheminé vers un tonneau moyennant un transporteur à retour disposant de trappes permettant la répartition entre les deux tuyaux d'écoulements existants qui sont en contact avec les foyers des fours, où a lieu la combustion du fuel.

## 6 Epuration

Cette opération a pour but d'enlever les particules en suspension et les non sucres associés au jus de diffusion, et permet de neutraliser ce jus.

### 6-1 Le préchauffage :

La réaction très importante entre la chaux et certains non sucres pour former des composés insolubles demande dans le cas de betteraves saines des quantités faibles de chaux : 2 à 3 g CaO/L de jus. Cette étape s'appelle « le préchauffage » et elle a comme but de précipiter au plus vite les produits insolubles formés avec la chaux.



**Figure 8 : Constitution d'un préchauffeur et bacs de préchauffage et chaulage**

La décantabilité et la filtrabilité demandent des particules d'une dimension suffisante, de structure cristalline ou peut hydratées.

Les précipités sont de deux types : ioniques et colloïdales

### 6-2 Chaulage :

Après le préchauffage le jus passe dans un chaulage à un seul compartiment (avec un diamètre de 2600mm, et une hauteur de 11100mm) où on ajoute la chaux à des quantités importantes.

### 6-3 Première carbonatation

Dans cette opération, le jus chaulé passe dans un bac à carbonatation où il y a un distributeur de CO<sub>2</sub>. Cette étape a comme but:

- L'élimination de l'excès de chaux provenant du chaulage et du pré chaulage.
- La formation de CaCO<sub>3</sub> qui permet d'absorber les non sucres et matières colorantes.

### 6-4 Décantation

Après la première carbonatation, on obtient un jus trouble qui est acheminé vers un réchauffeur afin d'augmenter sa température à 94°C, il passe dans un décanteur à 4 compartiments

Cette décantation consiste à laisser le jus au repos pour le séparer de matières solides en suspension, ainsi la boue descend sous l'action de la gravité. Le jus clair sort par débordement et passe dans une série de bacs d'attente la partie du jus boueux est acheminée vers les filtres rotatifs

## 7 Deuxième carbonatation

Le but principal de cette étape est :

- Eliminer l'excès de la chaux laissée par la première carbonatation.
- Transformer les hydroxydes de K et Na

### 7-1 Décalcification

L'objectif de la décalcification est d'éliminer les sels de calcium restant dans le jus afin qu'ils ne puissent pas précipiter sur les tubes des évaporateurs au moment de la concentration. En effet, ces derniers doivent fonctionner toute la campagne sans nettoyage et il est important qu'ils ne s'encrassent pas.

## 8 Évaporation

En sucrerie l'évaporation est la phase de fabrication qui suit l'épuration et qui a pour but de concentrer le jus épuré par évaporation de la plus grande partie de l'eau qu'il contient. Le jus à 14,5 brix est transformé en sirop (ou jus dense) à un Bris entre 65 à 70 par évaporation.

L'évaporation est une concentration de matières sèches par élimination d'eau. Cette opération se passe dans un appareil où le jus à concentrer et la vapeur de chauffage se trouvent de part et d'autre d'une paroi métallique qui constitue la surface d'échange thermique. La vapeur au contact de cette paroi (faisceau) cède des calories et se condense en cédant sa chaleur latente de condensation. Le jus à la température d'ébullition absorbe la chaleur cédée par la vapeur condensée pour évaporer une partie de l'eau qui le compose. La vapeur d'eau du jus est récupérée dans la partie calandre et utilisée pour l'évaporation multiples effets, pour la cristallisation et pour les réchauffages des jus et divers produits de la cristallisation, etc.

## 9 Cristallisation

En sucrerie, la cristallisation appelée aussi cuisson consiste à concentrer un sirop pour l'emmener à un état tel que le saccharose cristallise les autres impuretés restant en solution. La cristallisation est effectuée en 3 trois jets. Chaque jet comprend lui-même trois étapes principales, la cuisson, le malaxage et l'essorage.

## 10 Séchage et Conditionnement de sucre

Le sucre cristallisé blanc est évacué du fond de la turbine sur un transporteur à secoueuses. Le sucre est séché par l'air chaud dans des cylindres séchoirs rotatifs, puis refroidi afin d'atteindre une teneur en eau comprise entre 0.03 et 0.06%.

Le sucre est ensuite tamisé, classé et pesé, puis dirigé vers l'atelier d'ensachage automatique.

### III. Procédé de l'évaporation à l'usine de SUTA:

La SUTA est équipée d'un évaporateur à cinq effets; les quatre premiers effets sont constitués chacun de deux corps (A et B), alimentés en parallèle par la vapeur et en série par le jus, alors que le cinquième effet est constitués d'un seul corps.

Le jus entre de façon continue par la partie inférieure de la première caisse. Il est uniformément réparti sous la plaque tubulaire d'où il grimpe en bouillonnant dans les tubes. En avançant et au fur et à mesure que l'eau s'évapore, les bulles de vapeur se forment et grandissent.

Le jus retombe finalement sur la plaque tubulaire supérieure et se rassemble dans un tube central de grand diamètre (puits central), au bas duquel se trouve un orifice de sortie.

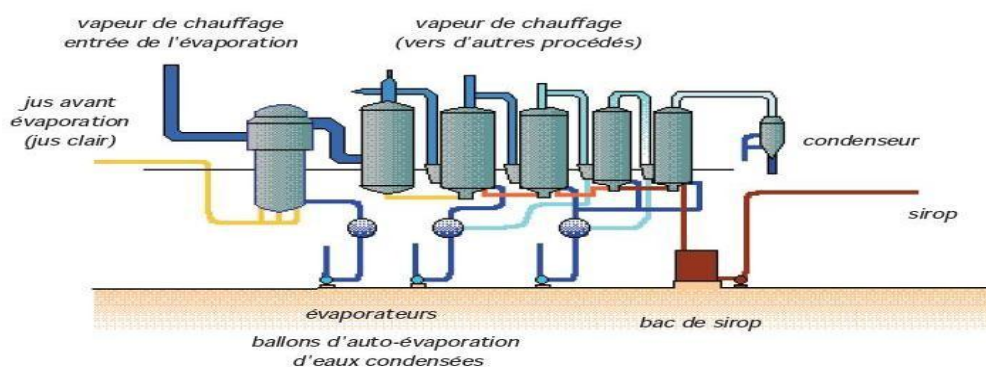
La vapeur formée par l'ébullition du jus est évacuée au sommet de la calandre dont le rôle est d'empêcher l'entraînement de gouttelettes de jus avec la vapeur à travers une série de chicanes constituant le déssucreur.

Au-dessous de la plaque tubulaire inférieure, il y a deux orifices pour évacuer les eaux condensées provenant de la vapeur de chauffage. Ensuite le jus rejoint la deuxième caisse et ainsi de suite.

C'est le vide qui détermine le débit de circulation de la vapeur de chauffe car il y a une relation directe entre la température d'ébullition et la pression, plus la pression est élevée, plus la température d'ébullition sera élevée. La pression de cette vapeur doit être choisie de façon à vaincre les entraînements et pertes de charge. Ce vide va en augmentant du premier au dernier effet. L'accumulation des gaz incondensables provoque la formation d'une interface imperméable à la vapeur et qui empêche ainsi le transfert de chaleur. Leur évacuation est donc obligatoire.

Pour permettre l'ébullition du jus sans risquer de dégrader le saccharose, Le dernier corps est relié à un condenseur barométrique muni de pompe à vide qui permet d'abaisser la pression de caisse en caisse, le dernier effet étant sous vide.

Du fait de la différence de pression régnant entre chaque caisse, le jus circule de l'une à l'autre sans pompe de transfert.



### 1. L'auto évaporation

Les condensats sont collectés dans des ballons équilibrés, à la pression calandre.

L'auto évaporation vient en déduction de la vapeur nécessaire pour chauffer le corps auquel le ballon est équilibré.

L'auto-évaporation des condensats (a) exprime en (T /h) se calcule comme pour les jus par une formule du type:

**C<sub>pe</sub>** = Chaleur spécifique des jus

**r**= chaleur latente de vaporisation à T de chauffage

**T<sub>ve1</sub>** = Température de vaporisation correspond à la pression calandre

**a) Température de sortie des condensats (T<sub>cond</sub>)**

On utilise la formule approximative suivante:

---

**b) Retard à l'ébullition formule de HIGGINS (ΔT°c)**

$$\Delta T_{eb} = (bm/35.5) \times [(30+bm)/(103.6-bm)] \times (0.22+0.0078 \times T_{sat})$$

Avec bm : brix moyen dans la caisse (b ent+ b sort)/2

T<sub>sat</sub> : température de saturation

La vapeur provenant du jus étant en équilibre thermique avec celui-ci sera donc surchauffée (surchauffe = ΔT<sub>eb</sub>).

## 2. Le bilan dans une caisse d'évaporation

Pour faire le bilan d'une caisse, on écrit les équations suivantes:

**Conservation des matières sèches**

$$\mathbf{JE \times Be = JS \times Bs}$$

Avec : **JE** = débit jus entré (T/h)

**JS** = débit jus sorti (T/h)

**Be et Bs** = brix respectifs entrants et sortants

**Conservation de la masse**

$$\mathbf{E = JE - JS \quad \text{Avec } E = \text{eau évaporée (T/h).}$$

**Conservation de l'enthalpie**

$$\mathbf{H \text{ vap} + H \text{ JE} = H \text{ Cond} + H \text{ JS} + H \text{ E} + \text{Pertes}}$$

On tiendra compte en sus du flash du jus entrant ou de son réchauffage en caisse, selon qu'il entre à une température supérieure (cas général) ou inférieure (cas éventuellement du 1<sup>er</sup> effet) à la température du jus dans la caisse.

Flash du jus entrant

$$\mathbf{F = JE \times C_{JE} \times (T_{JS} - T_{JE}) / CLAT}$$

Avec C<sub>JE</sub> = chaleur massique du jus entrant



### 3. Transfert de chaleur en évaporation :

Les transferts de chaleur dans un évaporateur s'expriment, comme dans tout transfert de chaleur par échangeur, à l'aide de l'équation :

$$\frac{dQ}{dt} = A * K * \Delta T$$

Avec : **K** : Le coefficient global d'échange qui est la résultante :

- \* D'un coefficient de convection vapeur – tube, qui est prépondérant pour les caisses de tête.
- \* D'un coefficient de conduction à travers l'épaisseur du tube, qui est toujours supérieur aux autres coefficients.
- \* D'un coefficient de conduction à travers les dépôts éventuels sur la surface intérieure des tubes (carbonate de calcium sur les caisses de tête, silice et oxalate de calcium sur les caisses de queue) qui joue un rôle très important.
- \* D'un coefficient de convection émulsion jus vapeur – tube qui est prépondérant en queue.

Donc la résistance thermique globale R vaut :

$$R = 1 / K = 1/\alpha (\text{vap}) + e/\lambda(\text{tube}) + e/\lambda(\text{tartre}) + 1/\alpha(\text{jus})$$

**e** : l'épaisseur (exprimée en mètre)

**$\lambda$**  : la conductivité thermique

**$\alpha$**  : coefficient thermique

- \* Le coefficient global d'échange K est exprimé en **Kcal / h m<sup>2</sup> °c**

**$\Delta T$**  : facteur de potentialité représentant l'écart entre la température de la vapeur de chauffage et celle de la solution.

**A** : surface d'échange en m<sup>2</sup>

**$\frac{dQ}{dt}$**  : Débit de chaleur transmis par unité de temps en W

Les tubes en aciers inoxydables sont minces pour assurer une transmission de chaleur rapide.

La vapeur n'incruste pas les tubes, le jus par contre est incrustant.

### 4. Conduite de l'évaporation :

➤ **Mesure des Brix :**

Il faut toujours faire la mesure du résultat atteint c'est à dire le brix final. Ce renseignement est intéressant pour la conduite de l'usine. Il faut également enregistrer ou vérifier souvent le brix du jus entrant car la quantité d'eau évaporée est liée à la valeur de ce brix. On peut aussi contrôler au réfractomètre le brix des jus entre les différentes caisses.

➤ **Contrôle du débit de jus admis à l'évaporation :**

Un débitmètre ou un enregistreur de débit est utile pour la conduite. Il permet de donner une idée sur la quantité d'eau à évaporer surtout si on connaît le brix de jus.

➤ **Contrôle de l'ébullition sur la plaque tubulaire.**

Les caisses d'évaporation sont munies d'un ou deux regard circulaire placé juste au-dessus de la plaque tubulaire.

On peut observer ou regarder l'aspect de la nappe bouillante pour se rendre compte si le fonctionnement de l'appareil est normal, trop lent ou trop violent ou bien s'il est dérangé sur une partie de la surface.

➤ **Contrôle de la teneur en sucre dans les eaux condensées.**

Ce contrôle est fait au moyen du test à l'alpha naphthol. Il est fait régulièrement au niveau du laboratoire et à la chaufferie. A chaque perturbation de l'évaporation il est important de surveiller de très près les eaux condensées car dans ce cas ce sont les entraînements de sucre qui sont les plus fréquents.

➤ **Perte de sucre en évaporation.**

Certaines pertes de sucre peuvent être chiffrées par des analyses fréquentes mais d'autres sont difficilement décelables.

➤ **Pertes par entraînement vésiculaires :**

Pendant l'évaporation, l'ébullition projette dans l'espace vapeur de la caisse des fines gouttelettes de jus. Ces gouttelettes sont très légères et le courant de vapeur peut les entraîner facilement vers la caisse suivante ou vers le condenseur. Le danger est d'autant plus grand que le vide est plus élevé. C'est donc au niveau de la dernière caisse que les entraînements sont le plus à craindre.

➤ **Pertes par inversion :**

Lorsque le jus est porté à une haute température, le sucre qu'il contient subit une décomposition d'autant plus importante que la température est plus élevée et l'acidité plus forte.

## 5. Efficacité d'évaporation

Les noms de capacité évaporatoire, économie et chiffre d'évaporation sont employés en technique évaporatoire. Leurs définitions sont les suivantes:

- **Capacité évaporatoire** : c'est le débit massique de solvant évaporé (S).
- **Économie** : c'est le rapport entre le débit massique de solvant évaporé et le débit massique de vapeur de chauffe. D'après les notations utilisées: –
- **Chiffre d'évaporation  $C_e$**  : c'est le débit massique de solvant évaporé (S) par m<sup>2</sup> de surface de chauffe et par degré de chute de température. Cette grandeur mesure l'efficacité d'utilisation des surfaces d'échange. D'après les notations utilisées :

**C** \_\_\_\_\_

## Chapitre 2 : Problématique

Cette partie est consacrée à l'étude d'un bilan énergétique et les consommations d'énergie au niveau de l'unité d'évaporation et les méthodes de leur optimisation

- ✓ **Définition**
- ✓ **Etude de cas**
- ✓ **Besoins énergétiques de la sucrerie**
- ✓ **Economies d'énergie en évaporation**

## I. Définition

L'évaporation est une concentration de matières sèches par élimination d'eau. Cette opération se passe dans un appareil où le jus à concentrer et la vapeur de chauffage se trouvent de part et d'autre d'une paroi métallique qui constitue la surface d'échange thermique.

La vapeur au contact de cette paroi (faisceau) cède des calories et se condense en cédant sa chaleur latente de condensation. Le jus à la température d'ébullition absorbe la chaleur cédée par la vapeur condensée pour évaporer une partie de l'eau qui le compose. La vapeur d'eau du jus est récupérée dans la partie calandre et utilisée pour l'évaporation multiples effets, pour la cristallisation et pour les réchauffages des jus et divers produits de la cristallisation, etc.

## II. Etude de cas :

### 1. Problématique

Le bilan énergétique est un audit très détaillé du comportement énergétique de votre logement, une étude très poussée de tous les éléments de construction, tous les paramètres influents sur la performance énergétique de l'unité d'évaporation.

Avant d'investir dans des solutions souvent inadaptées car elles sont peu efficaces, il est important de connaître les faiblesses thermiques de l'intégralité de l'unité d'évaporation.

Cette première phase du bilan thermique permet de :

- mettre en évidence les points à améliorer de l'existant
- donner un ordre de priorité sur les travaux à entreprendre.

### 2. Détermination des prélèvements des corps d'évaporation

#### 2-1 Besoin en vapeur pour la diffusion :

##### a)- le réchauffage des eaux de presses :

Les eaux de presses sont chauffées par deux échangeurs platulaires :

- ☞ un échangeur eau de presse-eau de presse
- ☞ un échangeur eau de presse-vapeur VP 4

Nous nous intéressons uniquement au réchauffage par la vapeur pour déterminer les besoins en vapeur.

**Données:**

- ☞  $m_{EP} = 110 \text{ m}^3/\text{h}$
- ☞  $d = 1,057 \text{ tonne}/\text{m}^3$
- ☞  $C_p = 0,98 \text{ kcal}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$
- ☞  $T_s = 90 \text{ }^\circ\text{C}$
- ☞  $T_e = 70 \text{ }^\circ\text{C}$

Calculons le besoin en vapeur :

$$m_{EP} * d * C_p (T_s - T_e) = 110 * 1,057 * 0,98 (90 - 70) = 2294,70472 \text{ kcal}$$

Les eaux de presse sont chauffées par la vapeur VP IV d'une température de  $t=110^\circ\text{C}$ .

Donc la chaleur latente de la vapeur est calculée par la formule adoptée à la SUTA :

$$r = 607 - 0,708t = 607 - (0,708 * 110) = 533,368 \text{ kcal}/\text{kg}$$

Donc le débit de vapeur est :

$$mv_1 = \frac{2294,70472}{533,368}$$

$$mv_1 = 4,30 \text{ t/h}$$

*b)- le réchauffage du jus de circulation*

**Données :**

- ☞  $m_{j4} = 388 \text{ m}^3/\text{h}$
- ☞  $d = 1,057 \text{ tonne}/\text{m}^3$
- ☞  $C_p = 0,91 \text{ kcal}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}$
- ☞  $T_s = 77^\circ\text{C}$  et  $T_e = 72^\circ\text{C}$
- ☞ Le jus de circulation est réchauffé par la vapeur VP IV, donc :  $r = 529,92 \text{ kcal}/\text{kg}$

Donc le débit de la vapeur VP IV est calculé comme suit :

$$mv_2 = \frac{388 * 1,057 * 0,91 (77 - 72)}{529,92}$$

$$mv_2 = 3,50 \text{ t/h}$$

*c)- le réchauffage du jus brut 6000 :* Le jus brut, provenant de la tour ayant une capacité de 6000 Tonnes, est chauffé par la vapeur VP IV dans un échangeur de chaleur platulaire.

**Données :**

- ☞  $m_{j6} = 270 \text{ m}^3/\text{h}$
- ☞  $d = 1,057 \text{ tonne}/\text{m}^3$
- ☞  $C_p = 0,9 \text{ kcal}/\text{kg}^\circ\text{C}$
- ☞  $T_s = 70^\circ\text{C}$  et  $T_e = 41,6^\circ\text{C}$
- ☞  $r = 533,368 \text{ kcal}/\text{kg}$

Donc le débit  $m_{v3}$  de la vapeur VP IV est :

$$m_{v3} = \frac{m_{j6} \cdot (T_s - T_e)}{r}$$

$$m_{v3} = 13,64 \text{ t/h}$$

d)- *le réchauffage du jus démoussé* : Le jus démoussé est chauffé par la vapeur VP IV dans un échangeur de chaleur platulaire.

**Données :**

- ☞  $m_{jd} = 183 \text{ m}^3/\text{h}$
- ☞  $d = 1,057 \text{ tonne}/\text{m}^3$
- ☞  $C_p = 0,9 \text{ kcal}/\text{kg}^\circ\text{C}$
- ☞  $T_s = 68^\circ\text{C}$      $T_e = 90^\circ\text{C}$
- ☞  $r = 533,368 \text{ kcal}/\text{kg}$

Donc le débit  $m_{v4}$  de la vapeur VP IV est :

$$m_{v4} = \frac{m_{jd} \cdot (T_e - T_s)}{r}$$

$$m_{v4} = 7,16 \text{ t/h}$$

e) *le réchauffage du jus brut 4000* : Le jus brut, provenant de la tour ayant une capacité de 4000 Tonnes, est chauffé par la vapeur VP IV dans un échangeur de chaleur platulaire

**Données :**

- ☞  $m_{jc} = 130 \text{ m}^3/\text{h}$
- ☞  $d = 1,057 \text{ tonne}/\text{m}^3$
- ☞  $C_p = 0,91 \text{ kcal}/\text{kg}^\circ\text{C}$
- ☞  $T_s = 70^\circ\text{C}$      $T_e = 51^\circ\text{C}$
- ☞  $r = 533,368 \text{ kcal}/\text{kg}$  (puisque le réchauffage se fait par la même vapeur).

Donc le débit  $m_{v5}$  de la vapeur VP IV est :

$$m_{v5} = \frac{m_{jc} \cdot (T_s - T_e)}{r}$$

$$m_{v5} = 4,45 \text{ t/h}$$

**Tableau 1 : récapitulatif de la consommation de la vapeur au cours de la diffusion:**

	VP IV
Eaux de presse	$m_{v1} = 4,30 \text{ t/h}$
Jus brut 4000	$m_{v2} = 4,45 \text{ t/h}$
Jus brut 6000	$m_{v3} = 13,64 \text{ t/h}$
Jus démoissé	$m_{v4} = 7,16 \text{ t/h}$
Jus de circulation	$m_{v5} = 3,50 \text{ t/h}$

**Le besoin total en vapeur pour la diffusion est :**

$$m_{\text{diffusion}} = m_{v1} + m_{v2} + m_{v3} + m_{v4} + m_{v5} = 33,05 \text{ tonne/h}$$

Ou en 2016 est :  $m_{\text{diffusion}} = 13,3 \text{ tonne /h}$

Ou en 2015 est :  $m_{\text{diffusion}} = 25,90 \text{ tonne /h}$

*2-2 Besoin en vapeur pour l'épuration :*

Pendant l'épuration, le jus est chauffé dans des réchauffeurs, d'une part par la vapeur de prélèvement des corps de l'évaporation.

Le débit de vapeur utilisé par chaque réchauffeur est calculé par la formule suivante :

$$m_v = \frac{m(d(T_s - T_e) + r)}{r - 0,708t}$$

☞ m : débit volumique du jus

☞ d : la densité du jus

☞ Cp : la chaleur spécifique du jus

☞ Ts : température de sortie du jus

☞ Te : température d'entrée du jus

☞ r : la chaleur latente de la vapeur

☞  $r = 607 - 0,708t$  d'où : t : la température de la vapeur chauffante



**Le tableau 2 : représente la consommation de la vapeur de prélèvement par l'épuration**

	Caractéristiques du jus					Caractéristiques de la vapeur			
	m (m <sup>3</sup> /h)	d (tonne/m <sup>3</sup> )	Cp (kcal/kg. °C)	Te °C	Ts °C	T °C	r kcal/kg	Nature De vapeur	m <sub>v</sub> tonne/h
Jus chaulé	403	1,076	0,9	78	82	89,7	543,49	VP V	2,87
Jus chaulé	403	1,076	0,9	82	86	104	533,36	VP IV	2,93
Jus avant 2ème co <sub>2</sub>	403	1,076	0,9	80,5	104,4	111,5	528,05	VP III	17,67
Jus avant évaporation	460	1,058	0,91	93,9	95,5	104	533,36	VP IV	1,33
Jus avant évaporation	460	1,058	0,91	95,5	101,7	111,5	528,05	VP III	5,20
Jus avant évaporation	460	1,058	0,91	101,7	113,6	121	521,33	VP II	10,11
Jus avant évaporation	460	1,058	0,91	113,6	120	121	521,33	VP II	5,44
Jus avant évaporation	460	1,058	0,91	120	129,6	128,5	516,02	VP I	8,24
Jus avant évaporation	460	1,058	0,91	129,6	170	170	486,64	VP vierge	4,91
<b>Total</b>									<b>58,7</b>

Le besoin en vapeur est donc de 58,7 tonne/h ce besoin n'était que de 48,93 tonne/h et de 44,11 tonne/h respectivement pour les années 2016 et 2015

*2-3 Besoin en vapeur pour la cristallisation :*



**Tableau 3 : représente les caractéristiques de la liqueur standard et de la masse cuite des 3 jets**

	Les brix des jets		Les cuites par jour	La capacité du cuiseur	La quantité des masses cuites	
	entrée	sortie			entrée	sortie
<b>1<sup>er</sup> jet</b>	74	91,5	51 cuite/24 h	54 tonne	141,88	114,75
<b>2<sup>ème</sup> jet</b>	76	93/92	42 cuite/8h	50 tonne	107,07	87,5
<b>3<sup>ème</sup> jet</b>	90	96	11 cuite/24h	50 tonne	24,44	22,91

☞ **La quantité de l'eau évaporée est la suivante:**

☞ **1<sup>er</sup> jet** = 27,13 tonnes/h

☞ **2<sup>ème</sup> jet** = 19,57 tonnes/h

☞ **3<sup>ème</sup> jet** = 1,527 tonnes/h

**Donc le besoin en vapeur VP3 pour les cuites est:**

$$mv = 27,13 + 19,572 + 1,527 = 48,23 \text{ tonnes/h}$$

Ce besoin n'était que de **28,18 tonnes/h en 2016** et de **17,89 tonnes/h en 2015**

**Tableau 4 : regroupe les différentes valeurs de prélèvements de vapeur, en tonne/h, calculées précédemment pour chaque effet**

	VP1 t/h	VP2 t/h	VP3 t/h	VP4 t/h	VP5 t/h
<b>Eaux de presses</b>				4,3	
<b>Jus brut 4000</b>				4,45	
<b>Jus brut 6000</b>				13,64	
<b>Jus démoussé</b>				7,16	
<b>Jus de circulation</b>				3,50	
<b>Jus chaulé 1</b>					2,87
<b>Jus chaulé 2</b>				2,93	
<b>Jus avant 2<sup>ème</sup> carbonatation</b>			17,67		
<b>JAE 1</b>				1,33	
<b>JAE 2</b>			5,20		

JAE 3			10,11		
JAE 4			5,44		
JAE 5	8,24				
Cuites 1er			27,1368		
Cuites 2ème			19,57		
Cuites 3ème			1,527		
<b>total</b>	8,24	15,55	71,103	37,31	2,87

le total des besoin en vapeur pour l'année de 2017 est de 129,56 par contre en 2015 est de 88,61 t/h et en 2016 est de 84,39 t/h

### 3. Etablissement du bilan de l'évaporation

#### 3-1 Détermination des caractéristiques du jus :

##### ➤ Méthodes de calcul:

##### a)- calcul du débit massique :

□ La masse volumique  $d$  est obtenue par la relation :

$$\bullet \quad \frac{1000}{\frac{100}{Bx} + \frac{1000 - 100}{T}}$$

- $Bx$  : le brix du jus
- $T$  : la température du jus

• Le débit volumique  $Je_1'$  entrant à la première caisse 1A est :  $Je_1' = 460 \text{ m}^3/\text{h}$

□ La masse volumique correspondante est  $de_1 = 1,0695 \text{ tonne}/\text{m}^3$

• Donc le débit massique  $Je_1 = Je_1' * de_1$

$$\bullet \quad Je_1 = 460 * 1,0695 = 491,9 \text{ t/h}$$

• L'équation de conservation de la matière sèche s'écrit :  $Je * Be = Js * Bs$

• Pour la première caisse on a :  $Js_1 * Bs_1 = Je_1 * Be_1$  d'où :

$$\bullet \quad Bs_1 = 19,66 \quad Be_1 = 17,67 \quad Je_1 = 491,9 \text{ t/h}$$

$$\bullet \quad \frac{491,9 * 17,67}{19,66}$$

• Le jus de sortie de la première caisse est le jus d'entrée de la deuxième caisse.

• Par la suite : \_\_\_\_\_

$$\bullet \quad \text{D'où : } Je_2 = \quad \quad \text{t/h} \quad Be_2 = 19,66$$

$$\bullet \quad Bs_2 = 22,81 \quad \text{donc : } Js_2 = \quad \quad \text{t/h}$$

- L'équation de conservation de la matière sèche est appliquée à chacune des caisses de l'évaporation pour déterminer le débit massique de sortie de chaque caisse en considérant que :
  - Le débit massique de sortie de la caisse est égal au débit massique d'entrée de la caisse suivante.
  - le brix de sortie de la caisse est égal au brix d'entrée de la caisse suivante.

**b)- calcul du débit volumique :**

Le débit volumique est obtenu par la formule :  $J' = J/d$

Pour la première caisse on a :

- à l'entrée : \_\_\_\_\_

On a :  $J_{e1} = 491,9 \text{ t/h}$      $d_{e1} = 1,0695 \text{ t/m}^3$     donc  $J_{e1}' = 460 \text{ m}^3/\text{h}$

- à la sortie : \_\_\_\_\_

D'où :  $J_{s1} = \text{ t/h}$      $d_{e1} = 1,0741 \text{ t/m}^3$     donc  $J_{s1}' = 401,62 \text{ m}^3/\text{h}$

**c)- calcul de la chaleur spécifique :**

- La chaleur spécifique  $C_p$  est calculée par la formule suivante :  $C_p = 1 - 0,006B_x$
- $C_p$  est exprimé en kcal/kg.°C. donc on multiplie par 4,18 pour convertir en kJ/kg.°C.

**d)- calcul de l'enthalpie :**

- L'enthalpie  $h$  est calculée par la formule suivante :  $h = C_p * T$

**e)- calcul de l'eau évaporée :**

- l'équation de la conservation de la masse pour le jus s'écrit :  $J_e = J_s + E$
  - donc l'eau évaporée par corps est exprimée par la formule :  $E_{corps} = J_e - J_s$
  - l'eau évaporée par effet est la somme de l'eau évaporée par le premier corps et de l'eau évaporée par le deuxième corps.
- Donc :  $E_{effet} = E_{corps1} + E_{corps2}$

**Tableau 5 : représente les caractéristiques du jus à l'entrée et à la sortie**

		Effet 1		Effet 2		Effet 3		Effet 4		Effet 5	
		1A	1B	2A	2B	3A	3B	4A	4B	5	
caractéristiques du jus	entrée	Masse volumique (t/m <sup>3</sup> )	1,069544	1,0741	1,0861	1,095048	1,111865	1,1417	1,164010	1,169194	1,16957105
		Débit massique (t/h)	491,9904	431,43	371,85	315,1956	258,9897	182,48	146,9747	135,9717	133,784157
		Débit volumique (m <sup>3</sup> /h)	460	401,62	342,36	287,8372	232,9326	159,82	126,2658	116,2951	114,387369
		Brix	17,67	20,5	22,80	26,24	41,72	46,00	58,40	63,28	65,6
		Température °C	132	132	127,45	127,5	117	117,75	109	110	93
		Chaleur spécifique (kj/kg.°C)	3,747620	3,6869	3,6079	3,505097	3,35863	3,0142	2,732633	2,615509	2,589928
		Enthalpie (kj/kg)	511,42	516,83	514,63	520,9299	520,7704	527,47	525,8929	530,0877	532,607777
	sortie	Masse Volumique (kg/m <sup>3</sup> )	1,074201	1,0861	1,0950	1,111865	1,141746	1,1640	1,169194	1,169571	1,16940104
		Débit massique (t/h)	431,4300	371,85	315,19	258,9897	182,4852	146,97	135,9717	133,7841	130,010968
		Débit volumique (m <sup>3</sup> /h)	401,6288	342,36	287,83	232,9326	159,8299	126,2	116,2951	114,387	111,177400
		Brix	19,66	22,81	26,91	32,75	46,48	57,71	62,38	63,4	67,15
		Température °C	127	130	121,5	121	112	114	109	105	95
		Chaleur spécifique (kj/kg.°C)	3,686927	3,6079	3,5050	3,35863	3,014281	2,7326	2,615509	2,589928	2,5437808
		Enthalpie (kj/kg)	516,8256	514,63	520,92	520,7704	527,4786	525,89	530,0877	532,6077	540,659635
Eau évaporée par corps (t/h)		60,56037	59,579	56,655	56,20588	76,50451	35,510	11,00308	2,187557	3,773188988	
Eau évaporée par effet (t/h)		120,139714		112,8609601		112,0149909		13,19064036		3,773188988	

#### 4. Calcul de la température des condensats :

Pour le calcul de la température des condensats en est besoin de la température de la vapeur chauffante (Tvc )et la température de jus (Tj)

**Tableau 6 : regroupées Les températures et les pressions moyennes et la chaleur latente Lv des faisceau et des calandre**

			Effet 1		Effet 2		Effet 3		Effet 4		Effet 5
			A	B	A	B	A	B	A	B	5
paramètres	calandre	Pression (Bar)	3,12	3,12	2,84	2,84	2,18	2,18	1,59	1,59	1,08
		Température (°C)	136	136	129	129	120	119	110	110	97
		Lv (kj/kg)	2154,481	2154,48	2173,457	2173,45	2199,05	2201,60	2226,92	2226,92	2262,12
	faisceau	Pression (Bar)	2,84	2,8	2,18	2,18	1,59	1,59	1,13	1,13	0,75
		Température (°C)	127	130	121	121	111	112	105	101	89,7
		Lv (kj/kg)	2178,558	2171,06	2196,507	2196,50	2224,37	2221,82	2241,52	2251,72	2282,07

Pour chaque effet on calcule la chaleur latente Lv par la formule :

$$Lv = 4,186 \cdot (600,54 - (0,6093 \cdot T) - (0,9576 \cdot P))$$

**T : la température en °C et P : la pression en bar**

A partir du tableau (6) on déduit la température moyenne de la vapeur chauffante ( calandre ) et celle de la température du jus ( faisceau )

**Tableau 7 : suivant représentant la distribution des températures moyennes pour chaque effet**

	Effet 1	Effet 2	Effet 3	Effet 4	Effet 5
Température de la vapeur chauffante Tvc (°C)	136	129	119,5	110	97
Température de la vapeur produite Tve (°C)	128,5	121	111,5	103	89,7
Température du jus Tj (°C)	128,905	121,67655	113,4341	106,8534	93,7010805
Température des Condensats Tc (°C)	134,22625	127,169138	117,983525	109,21335	96,17527013

**5. Calcul du bilan de l'évaporation :**

**On désigne par :**

- **V** = vapeur à l'entrée de l'effet
- **E** = eau condensée
- **e** = auto-évaporation des eaux condensées
- **Tc** = température des condensats
- **Tve** = température de la vapeur produite (vapeur de la calandre)
- **r** = chaleur latente de la vapeur à la pression de la calandre,  $r = 607 - 0,708Tve$
- **Cpe** = la chaleur spécifique de l'eau, on a :  $Cpe = 1 \text{ kcal/kg.}^\circ\text{C}$

## Effet 1

- Calculons l'auto-évaporation des condensats :

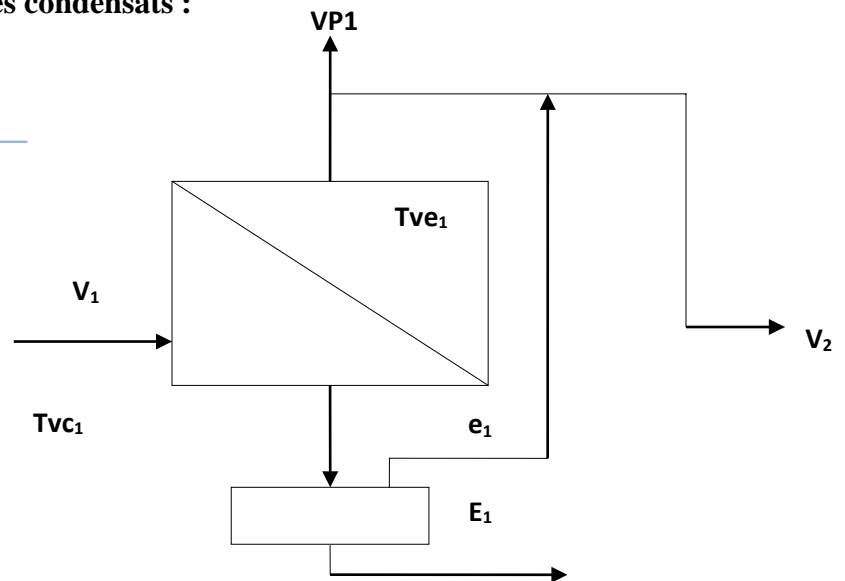
- ✓ \_\_\_\_\_
- ✓ \_\_\_\_\_
- ✓ sachant que:  $V_1 = 120,13 \text{ t/h}$
- ✓  $e_1 = 1,33 \text{ t/h}$

- Calculons  $V_2$  :

- ✓  $V_2 = (V_1 - VP_1) + e_1$
- ✓  $V_2 = (120,13 - 8,24) + 1,33$
- ✓  $V_2 = 113,22 \text{ t/h}$

- Calculons  $E_1$  :

- ✓  $E_1 = V_1 - e_1$
- ✓  $E_1 = 120,13 - 1,33$
- ✓  $E_1 = 118,80$



## Effet 2

- Calculons  $e_2$  :

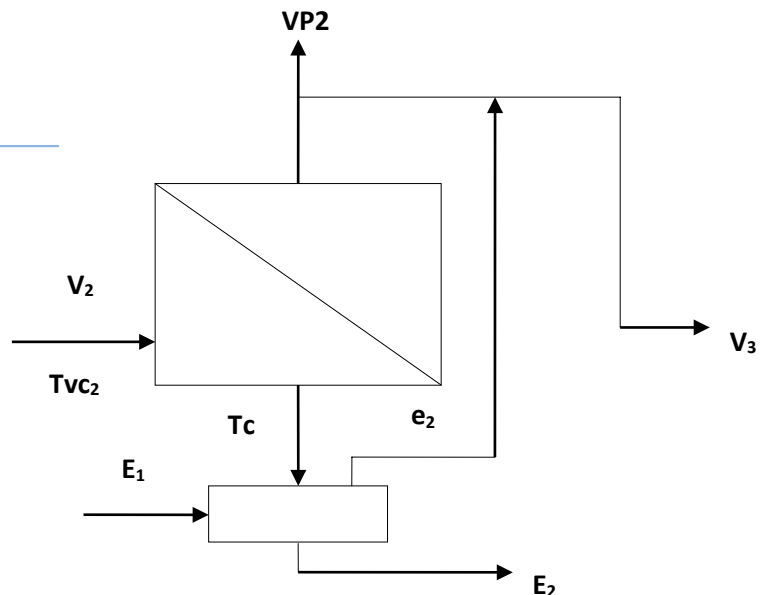
- ✓ \_\_\_\_\_
- ✓ \_\_\_\_\_
- ✓ sachant que:  $V_2 = 113,22 \text{ t/h}$
- ✓  $e_2 = 2,741 \text{ t/h}$

- Calculons  $V_3$  :

- ✓  $V_3 = (V_2 - VP_2) + e_2$
- ✓  $V_3 = (113,22 - 15,55) + 2,741$
- ✓  $V_3 = 100,411 \text{ t/h}$

- Calculons  $E_2$  :

- ✓  $E_2 = V_2 + E_1 - e_2$





✓  $E2 = 113,22 + 118,80 - 2.741$

✓  $E2 = 229.279$

**Effet 3**

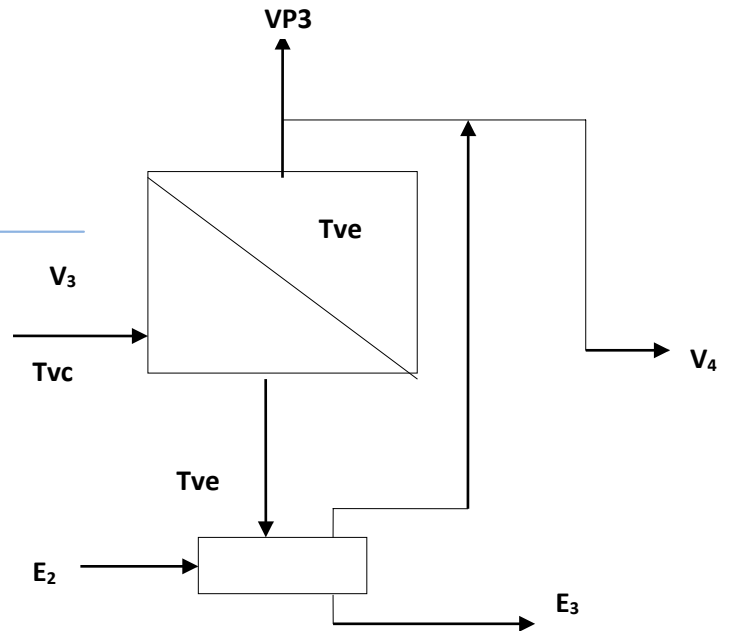
□ Calculons e3 :

- ✓ \_\_\_\_\_
- ✓ \_\_\_\_\_
- ✓  $V3 = 100.411$

✓  $e3 = 4.1881 \text{ t/h}$

□ Calculons V4 :

- ✓  $V4 = (V3 - VP3) + e3$
- ✓  $V4 = 100.411 - 71.103 + 4.1881$
- ✓  $V4 = 33.4961 \text{ t/h}$



□ Calculons E3 :

- ✓  $E3 = V3 + E2 - e3$
- ✓  $E3 = 100.411 + 229.279 - 4.1881$
- ✓  $E3 = 325.5$

**Effet 4**

□ Calculons e4 :

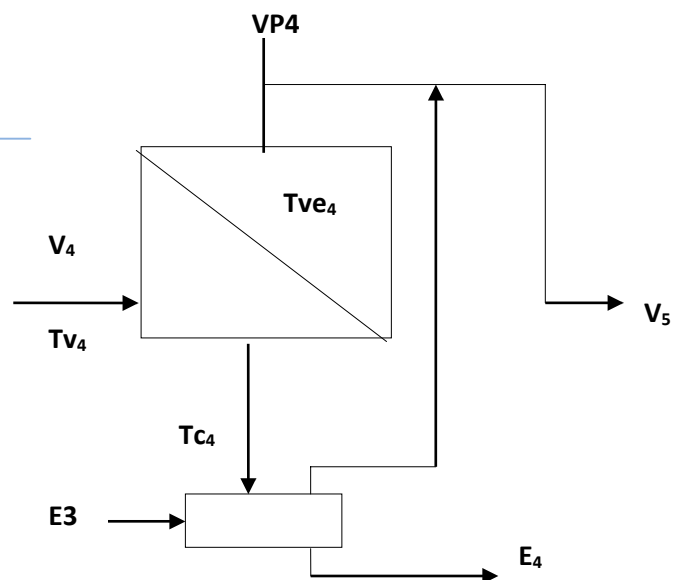
- ✍ \_\_\_\_\_
- ✍ \_\_\_\_\_
- ✓ Sachant que:
- ✓  $e4 = 4.17627 \text{ t/h}$

□ Calculons V5 :

- ✓  $V5 = (V4 - VP4) + e4$
- ✓  $V5 = (33.4961 - 37.31) + 4.1762$
- ✓  $V5 = 0.3623 \text{ t/h}$

□ Calculons E4 :

- ✓  $E4 = V4 + E3 - e4$
- ✓  $E4 = 33.4961 + 325.5019 - 4.17627$
- ✓  $E4 = 354.8217 \text{ t/h}$



	Effet 1	Effet 2	Effet 3	Effet 4	Effet 5
Vapeur à l'entrée (t/h)	120.13	113,22	100.411	33.4961	0.3623

## 6. Conclusion :

Nous avons remarqué d'après l'étude du bilan thermique que la performance de l'unité d'évaporation est améliorée car nous avons récupéré les pertes de vapeur dans des circuits destinés à alimenter les autres unités.

### III. Besoins énergétiques de la sucrerie

#### 1. Besoins thermiques :

##### 1-2 Evaporation :

L'évaporation utilise la chaleur pour augmenter la concentration en matières sèches des jus. (Brix).

Mais l'évaporation restitue, sous forme de vapeur, une grande partie de l'énergie qu'elle reçoit aux différents ateliers de fabrication.

L'autre partie de l'énergie thermique est nécessaire pour compenser les pertes.

Ces pertes sont dues :

- à la quantité de vapeur allant au condenseur barométrique,
- aux incondensables,
- aux déperditions de chaleur dans l'environnement,
- à l'eau condensée chaude extraite.

L'atelier d'évaporation consomme environ 8 thermies à la tonne de betteraves.

#### IV. Besoins énergétiques totaux :

Ils sont exprimés en thermies par tonne de betteraves et se répartissent de la manière suivante :

Atelier	Besoins thermiques	Besoins électriques	TOTAL
Réception – cour - lavoir	0	4	4
Diffusion	45	3	48
Epuration	27	1	28
Evaporation	8	1	9
Cristallisation	60	6	66
Divers	10	3	13
Chaufferie	20	2	22
TOTAL	170	20	190

#### V. Economies d'énergie en évaporation

##### **a)- Garder les surfaces d'échange propres :**

- Décalcification des jus,
- Antitartres.

##### **b)- Améliorer la vaporisation des caisses :**

- Limiter le nombre de caisses par effet,
- Eviter les surfaces excessives,
- Maintenir les niveaux de jus dans les caisses :

Sans by passage de vapeur, sans gêner la vaporisation dans les tubes (régulation de niveau amont avec bouteille de niveau à la sortie..

##### **c)- Récupérer les condensats :**

- Par ballons équilibrés de caisse à caisse, récupérer les auto évaporations pour amener les condensats à la température requise.
- Refroidir ces condensats par échangeurs , sur les jus de l'évaporation, les produit lourds de cristallisation, le chauffage des locaux, les aérothermes des sécheurs à sucre, le chauffage de l'air de combustion des chaudières
- Extraction des eaux condensées :

Les eaux condensées sont aussi appelées eaux de retours ou condensats. Elles doivent être extraites au fur et à mesure de leur production sans entraînement de vapeur.

Si l'eau n'est pas extraite des corps ou de tout échangeur, elle s'accumulerait dans le faisceau tubulaire, diminuant ainsi la surface de chauffe et, à l'extrême, empêcherait la vapeur de pénétrer dans le faisceau.

A chaque perturbation de l'évaporation il est important de surveiller de très près les eaux condensées car dans ce cas ce sont les entraînements de sucre qui sont les plus fréquents. (Pertes de sucre).

#### **d)- Diminuer les prélèvements :**

La perte de concentration étant compensée par :

- Recul de prélèvement avec augmentation de pression ou de surface de chauffe,
- Recompression de vapeur avec augmentation de la surface de tête.

#### **e)- Réduire les dégazages par :**

- L'utilisation pour réchauffage,
- L'installation des diaphragmes limitant les dégazages

### **Conclusion :**

Sur la base de l'ensemble des résultats obtenus de cette analyse, une liste de recommandations a été établie pour maîtriser le système énergétique tout en sachant le degré de complexité de réaliser un compromis idéal entre la consommation et la production de la vapeur. Les Règles générales de conduite sont donc :

- Réutiliser au maximum les calories disponibles dans les condensats (détente dans les ballons).
- Eviter les fuites de vapeur par le circuit des condensats.
- Les appareils doivent être bien calorifugés.
- Réduire au maximum les chutes de températures nuisibles à la fabrication (fuite de vapeur et pénétration d'air, calorifuge).
- Les tubes doivent être bien propres à la mise en service de l'évaporation.
- Assurer une bonne extraction des gaz incondensables.
- Eviter de travailler avec des vapeurs surchauffées pour ne pas dégrader la qualité des sirops.

## Conclusion général :

D'après l'étude du bilan thermique on a estimé que la performance de l'unité d'évaporation est améliorée, donc on a essayé de proposer des méthodes pour réaliser un compromis idéal entre la consommation et la production de la vapeur.

Enfin, j'espère que mes propositions concernant l'amélioration de la consommation de l'énergie soient bénéfiques pour assurer une bonne rentabilité des équipements énergétiques.